

3
AV3
7-2-01

1c841 U.S. PTO
09/777108
02/05/01



대한민국 특허청
KOREAN INDUSTRIAL
PROPERTY OFFICE

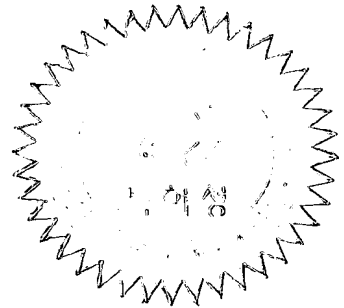
별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto
is a true copy from the records of the Korean Industrial
Property Office.

출원번호 : 특허출원 2000년 제 64672 호
Application Number

출원년월일 : 2000년 11월 01일
Date of Application

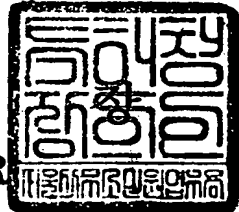
출원인 : 한국과학기술원
Applicant(s)



2001 01 18
 년 월 일

특 허 청

COMMISSIONER



【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【제출일자】	2000.11.01
【발명의 명칭】	원자력 발전소의 디지털 온라인 능동 시험 발전소 보호 시스템 및 그 방법
【발명의 영문명칭】	Digital online active test plant protection system and method for nuclear power plant
【출원인】	
【명칭】	한국과학기술원
【출원인코드】	3-1998-098866-1
【대리인】	
【성명】	전영일
【대리인코드】	9-1998-000540-4
【포괄위임등록번호】	1999-050824-9
【발명자】	
【성명의 국문표기】	성풍현
【성명의 영문표기】	SEONG, Poong Hyun
【주민등록번호】	550808-1024516
【우편번호】	305-701
【주소】	대전광역시 유성구 구성동 373-1 한국과학기술원 원자력공학과
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	손한성
【성명의 영문표기】	SON, Han Seong
【주민등록번호】	700715-1221815
【우편번호】	305-701
【주소】	대전광역시 유성구 구성동 373-1 한국과학기술원 원자력공학과
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	구서룡
【성명의 영문표기】	K00, Seo Ryong

【주민등록번호】 760708-1011124
【우편번호】 305-701
【주소】 대전광역시 유성구 구성동 373-1 한국과학기술원 원자력공학과
【국적】 KR
【신규성주장】
【공개형태】 간행물 발표
【공개일자】 2000.10.26
【심사청구】 청구
【취지】 특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인 전영일 (인)
【수수료】
【기본출원료】 20 면 29,000 원
【가산출원료】 7 면 7,000 원
【우선권주장료】 0 건 0 원
【심사청구료】 7 항 333,000 원
【합계】 369,000 원
【감면사유】 정부출연연구기관
【감면후 수수료】 184,500 원
【첨부서류】 1. 요약서·명세서(도면)_1통 2. 신규성(출원시의 특례)규정을 적용받기 위한 증명서류_1통

【요약서】

【요약】

본 발명은 국내 가동중인 원자력 발전소에 적용하기 위한 디지털 소프트웨어 기반의 진보된 원자로 보호 시스템 및 공학적 안전 설비 작동 시스템 및 그 방법을 제공하는 데 그 목적이 있다.

본 발명에 따르면, 원자력 발전소의 디지털 온라인 능동 시험 발전소 보호 시스템에 있어서, 시험을 시작하기 위한 명령어인 시험 입력과 상기 시험 입력이 현재 어느 공정 변수의 위치에 생성되어 있는지를 지시하는 시험 입력 위치 비트를 생성하는 TGC; 상기 TGC에 의한 시험 입력이 있으면, 물리적, 전기적으로 격리된 다수개의 측정 채널을 통하여 발전소 운전 변수를 입력받아 운전 변수 측정값과 미리 정하여진 제한값과의 비교에 의하여 트립 상태를 결정하는 TAC; 상기 TAC에 의하여 결정된 각각의 발전소 운전 변수의 트립 신호를 입력받아 원자로 정지 여부를 결정하여 원자로를 정지시키는 신호를 출력하는 VAC; 및 현재 원자로의 상태로부터 신호 패턴을 예상하여 상기 VAC에 의하여 발생된 원자로 정지 신호와 비교한 후, 불일치가 있으면, 최종적으로 원자로 정지를 결정하는 PRC를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 하는 디지털 온라인 능동 시험 발전소 보호 시스템이 제공된다.

【대표도】

도 1

【색인어】

VAC, TGC, TAC, 원자로 트립 신호

【명세서】**【발명의 명칭】**

원자력 발전소의 디지털 온라인 능동 시험 발전소 보호 시스템 및 그 방법 {Digital online active test plant protection system and method for nuclear power plant}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 디지털 온라인 능동 시험 발전소 보호 시스템(DOAT - PPS : Digital Online Active Test - Plant Protection System)의 개략적인 구성도이고,

도 2는 종래의 디지털 발전소 보호 시스템(DPPS), 동적 안전 시스템(DSS)과 본 발명의 일 실시예에 따른 DOAT-PPS와의 차이점을 보여주는 도면이다.

【발명의 상세한 설명】**【발명의 목적】****【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】**

- <3> 본 발명은 원자력 발전소의 보호 시스템 및 그 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게 설명하면 디지털 소프트웨어 기반의 진보된 원자로 보호 시스템 및 공학적 안전 설비 작동 시스템에 관한 것이다.
- <4> 원자력 발전소는 그 특성상 안전성이 매우 강조되는 시스템으로서, 원자력 발전소의 안전성을 위하여 가장 중요한 역할을 수행하는 것 중 하나는 원자로 보호 시스템

(Reactor Protection System)이다. 원자로 보호 시스템을 포함하는 계측 제어 시스템은 원자력 발전소에서 인간의 두뇌와 같은 역할을 담당하는 시스템으로서, 원자력 발전소 전체의 안정성은 물론 운전에도 매우 중요한 영향을 미친다. 따라서 원자로 보호 시스템과 같은 계측 제어 시스템의 성능을 향상시키고 높은 수준의 신뢰도를 보장하기 위한 기술을 개발하는 것은 원자력 발전소의 경제성 및 안정성 향상에 결정적인 효과를 가져다 줄 수 있을 것이다.

- <5> 현재 우리나라에서 가장 많이 사용되고 있는 가압 경수로형 원자력 발전소의 원자로 보호 시스템은 대부분 아날로그 회로 기반으로 가동되고 있는데, 이는 수많은 아날로그 회로 기판들로 구성되어 있는 공정 계측 시스템과 동시 논리를 수행하는 하드웨어로 되어 있는 SSPS(Solid State Protection System)로 구성되어 있다.
- <6> 현재의 이러한 원자로 보호 시스템은 여러 가지 문제점을 가지고 있는데, 이를 살펴 보면 다음과 같다.
- <7> 첫째, 아날로그 회로를 기반으로 한 시스템이기 때문에 드리프트 및 구성 기기의 폐퇴와 같은 아날로그 회로 자체로서의 문제점을 가지고 있다.
- <8> 둘째, 유지 및 보수를 위하여 주기적인 검사가 필요한데, 현재 이러한 검사는 거의 전적으로 인력에 의존하고 있으므로 인하여, 상당한 비용 및 시간이 소모된다는 문제점이 있다.
- <9> 셋째, 검사 동안의 불필요한 원자로 정지에 대한 위험성도 문제점으로 지적된다.
- <10> 한편 원자로 보호 시스템은 그 자체가 고부가가치의 원자력 발전 안전 등급 기기들로 구성되는 시스템일뿐만 아니라, 신호를 입력받게 되는 원자로 및 그 밖의 구성 기기

등도 대부분 원자력 발전 안전 등급 기기들이다. 대부분의 원자력 발전 안전 등급 기기들이 높은 수준의 기술을 필요로 하기 때문에 개발 및 구입 비용이 상대적으로 많이 든다. 특히, 주로 외국 기술에 의존하고 있는 계측 제어 시스템은 기기 제작비의 3 ~ 4 배에 달하는 엔지니어링 비용을 추가적으로 부담해야 하므로 경제적으로 큰 부담이 되는 측면이 있다. 구체적인 예로서, 고리 2호기 SSPS에 들어가는 발전소 제어 시스템(PCS : Plant Control System)은 약 1800만 달러에 달하고 있다. 이러한 원자력 발전 계측 제어 시스템을 국산화하려면, 제작비는 물론 엔지니어링 비용을 상당히 절감할 수 있어, 그 경제적 가치가 대단히 클 것으로 기대할 수 있다. 또한, 원자력 발전 계측 제어 시스템이 요구하는 기술의 수준이 상당히 높은 것을 감안할 때, 계측 제어 시스템 관련 산업들의 수준이 동반 상승할 것도 기대할 수 있을 것이다. 이러한 배경에서 원자력 발전 계측 제어 시스템의 핵심적 위치에 있는 원자로 보호 시스템을 국산화하는 연구는 매우 중요한 의미를 갖는다.

<11> 이러한 문제점을 극복하기 위하여는 소프트웨어 기반의 디지털 원자로 보호 시스템의 개발이 필요하다.

<12> 한편, 위에서 서술한 문제점들을 극복하기 위하여 현재 개발중인 디지털 발전소 보호 시스템(DPPS)을 살펴보면, 연계 시험 프로세서(Interface & Test Processor)가 연속적으로 비교 논리 프로세서(Bistable Processor) 및 동시 논리 프로세서(LCL Processor)의 동작을 감시하면서 이상이 있을 경우, 경보를 발생시키는 피동적 시험(Passive Test) 방법과 특정 채널을 우회(Bypass)시킨 후, 시험 신호를 인가하여 예상되는 출력 신호 및 귀환 신호를 비교하는 능동적(Active Test)이 있다.

<13> 전자인 피동적 시험의 경우는 온라인 시험으로서, 시스템의 상태를 연속적으로 감

시하지만, 후자인 능동적 시험의 경우는 채널을 우회시킨 후, 주기적으로 시험을 수행하는 것으로서, 시스템의 상태를 연속적으로 감시할 수는 없다.

- <14> 결국, 종래의 디지털 발전소 보호 시스템에서의 시스템 시험은 각각의 채널 및 부품별로 상태를 감시하므로, 특정 부품 고장에 대한 비교적 자세한 정보를 얻을 수 있다는 장점을 가지는 반면, 그만큼 소프트웨어가 높은 복잡도(Complexity)를 가지게 되고, 시스템 시험 자체가 피동적 시험이므로 정상 운전시 정상 운전 상태에 있어서, 시스템의 안정성은 연속적으로 감시할 수 있으나, 실제 원자로 정지 상태에 대한 안정성은 보증하지 못한다는 문제점이 있다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

- <15> 따라서, 본 발명은 상기와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 본 발명의 목적은 국내 가동중인 원자력 발전소에 적용하기 위한 디지털 소프트웨어 기반의 진보된 원자로 보호 시스템 및 공학적 안전 설비 작동 시스템을 개발하기 위한 것이다.

【발명의 구성 및 작용】

- <16> 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따르면, 원자력 발전소의 디지털 온라인 능동 시험 발전소 보호 시스템(DOAT - PPS : Digital Online Active Test - Plant Protection System)에 있어서, 시험을 시작하기 위한 명령어인 시험 입력과 상기 시험 입력이 현재 어느 공정 변수의 위치에 생성되어 있는지를 지시하는 시험 입력 위치 비트

(Test Signal Positon Bit)를 생성하는 TGC(Test Generating Computer, 시험 발생 컴퓨터); 상기 TGC에 의한 시험 입력이 있으면, 물리적, 전기적으로 격리된 다수개의 측정 채널을 통하여 발전소 운전 변수를 입력받아 운전 변수 측정값과 미리 정하여진 제한값과의 비교에 의하여 트립 상태를 결정하는 TAC(Trip Algorithm Computer, 트립 알고리즘 컴퓨터); 상기 TAC에 의하여 결정된 각각의 발전소 운전 변수의 트립 신호를 입력받아 원자로 정지 여부를 결정하여 원자로를 정지시키는 신호를 출력하는 VAC(Voting Algorithm Computer, 보팅 알고리즘 컴퓨터); 및 현재 원자로의 상태에서부터 신호 패턴을 예상하여 상기 VAC에 의하여 발생된 원자로 정지 신호와 비교한 후, 불일치가 있으면, 최종적으로 원자로 정지를 결정하는 PRC(Pattern Recognition Computer, 패턴 인식 컴퓨터)를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 하는 디지털 온라인 능동 시험 발전소 보호 시스템이 제공된다.

- <17> 또한, 원자력 발전소의 디지털 온라인 능동 시험 발전소 보호 방법(DOAT - PPS : Digital Online Active Test - Plant Protection Method)에 있어서, 시험을 시작하기 위한 명령어인 시험 입력과 상기 시험 입력이 현재 어느 공정 변수의 위치에 생성되어 있는지를 지시하는 시험 입력 위치 비트(Test Signal Positon Bit)를 생성하는 제 1 단계; 상기 제 1 단계에서 시험 입력이 있으면, 물리적, 전기적으로 격리된 다수개의 측정 채널을 통하여 발전소 운전 변수를 입력받아 운전 변수 측정값과 미리 정하여진 제한값과의 비교에 의하여 트립 상태를 결정하는 제 2 단계; 상기 제 2 단계에 의하여 결정된 각각의 발전소 운전 변수의 트립 신호를 입력받아 원자로 정지 여부를 결정하여 원자로를 정지시키는 신호를 출력하는 제 3 단계; 현재 원자로의 상태에서부터 신호 패턴을 예상하여 상기 제 3 단계에서 발생된 원자로 정지 신호와 비교한 후, 불일치가 있으면, 최종적

으로 원자로 정지를 결정하는 제 4 단계를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 하는 디지털 온라인 능동 시험 발전소 보호 방법이 제공된다.

<18> 또한, 컴퓨터에, 시험을 시작하기 위한 명령어인 시험 입력과 상기 시험 입력이 현재 어느 공정 변수의 위치에 생성되어 있는지를 지시하는 시험 입력 위치 비트(Test Signal Position Bit)를 생성하는 제 1 단계; 상기 제 1 단계에서 시험 입력이 있으면, 물리적, 전기적으로 격리된 다수개의 측정 채널을 통하여 발전소 운전 변수를 입력받아 운전 변수 측정값과 미리 정하여진 제한값과의 비교에 의하여 트립 상태를 결정하는 제 2 단계; 상기 제 2 단계에 의하여 결정된 각각의 발전소 운전 변수의 트립 신호를 입력받아 원자로 정지 여부를 결정하여 원자로를 정지시키는 신호를 출력하는 제 3 단계; 현재 원자로의 상태로부터 신호 패턴을 예상하여 상기 제 3 단계에서 발생한 원자로 정지 신호와 비교한 후, 불일치가 있으면, 최종적으로 원자로 정지를 결정하는 제 4 단계를 포함하여 이루어진 것을 실행시킬 수 있는 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체가 제공된다.

<19> 이하, 첨부된 도면을 참조하면서 본 발명의 일 실시예에 따른 디지털 온라인 능동 시험 발전소 보호 시스템(DOAT-PPS : Digital Online Active Test - Plant Protection System, 이하 DOAT-PPS라 칭함.)을 보다 상세하게 설명하기로 한다.

<20> 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 DOAT-PPS의 개략적인 구성도로서, 상기 DOAT-PPS의 주요 구성 요소를 살펴보면, 테스트를 생성하는 TGC(110, Test Generating Computer : 테스트 생성 컴퓨터), 안전 변수 신호를 받아서 트립 설정치와 비교하여 트립 신호를 발생시키는 TAC(120, Trip Algorithm Computer, 트립 알고리즘 컴퓨터), 타

채널의 트립 신호를 받아서 로직을 수행하는 VAC(Voting Algorithm Computer, 130), 원자로 정지 신호를 발생시키는 PRC(Pattern Recognition Computer), 상기 TGC(110), TAC(120), VAC(130), PRC(140)와 통신하여 각 구성원에서 발생하는 입,출력 신호를 운전원이 감시 및 제어할 수 있도록 입력 및 출력 기능을 제공하는 MTC(150, Manual Test Computer) 및 주제어반에 설치되어 시스템의 운전 상태를 표시하고, 시험에 대한 감시 및 시스템의 유지, 보수에 필요한 각종 기능을 수행하는 운전원 모듈(160, RCM : Remote Control Module)로 구성되어 있다.

- <21> 본 발명의 일 실시예에 따른 DOAT - PPS는 서로 독립적인 4 개의 측정 채널(Channel A, B, C 및 D)로 이루어져 있다.
- <22> 원자로 정지 신호는 물리적, 전기적으로 격리된 상기 4개의 측정 채널 중 2개 이상의 채널이 미리 설정된 트립 설정값을 넘으면 발생한다. 여기서, 트립 설정값은 원자로 운전 변수에 기설정된 값으로서, 이 값을 넘으면, 원자로의 상태가 불안정함을 의미하며, 구체적인 내용은 후술하도록 하겠다.
- <23> 즉, 원자로 보호 시스템의 기능은 원자력 발전소가 정상 운전 상태에서 벗어나 비정상 상태로 될 때, 원자로를 정지시켜 주변 환경으로 방사능이 누출될 가능성을 최소화하는 것이다. 원자로 보호 시스템은 원자로 및 그 밖의 구성 기기로부터 신호를 입력받아 정상적인 운전 조건에서 벗어날 경우, 정지 논리(Trip Logic)를 이용하여 원자로 정지 신호를 발생시킨다.
- <24> 서로 독립적인 4 개의 채널에 입력된 신호는 상기 TGC(110)를 거쳐 상기 TAC(120)의 입력 신호로 들어간다. 여기서 상기 TGC(110)는 본 발명에 따른 디지털 온라인 능동 시험의 핵심이 되는 부분으로써, 시험 입력 및 시험 입력 위치 비트(Test Signal

Positon Bit)를 생성한다.

- <25> 이때, 시험 입력은 시험을 시작하는 명령이며, 시험 입력 위치 비트는 상기 TGC(110)에서 생성된 시험 입력의 기능을 돕는 것으로서, 시험 입력이 현재 어느 공정 변수의 위치에 생성되어 있는가를 알려주는 기능을 한다. 다시 말해서, DOAT-PPS는 자동적으로 능동적인 시험을 지속적으로 수행하는데 각 구성 요소들의 건전성을 판별하고자 시험 입력을 생성하여 실제 입력을 대체하여 사용한다. 따라서, 이 시험 입력이 어느 곳에 위치해 있는가가 상당히 중요한 사항이 되며 시험 입력 위치 비트는 이러한 위치를 전체 구성 요소에 알려주는 기능을 한다. 아울러, 시험 입력 위치 비트를 이용하여 상기 TAC(120), VAC(130) 및 PRC(140) 각각의 구성 요소들의 실시간 진단도 수행하게 된다.
- <26> 상기 TAC(120)는 자가 진단용 테스트 신호를 발생시켜 이를 통하여 트립 신호를 상기 VAC(130)로 전달한다. 즉, 한 채널에서 상기 TAC에 의하여 결정된 원자로 트립 신호는 4 개의 모든 채널의 VAC(130)에 입력 신호로 들어가게 되고, 상기 VAC(130)에서는 적절한 선택 논리(일반적으로 2/4 논리)에 의하여 원자로 정지 여부를 결정하게 된다.
- <27> 한편, 상기 PRC(140, Pattern Recognition Computer)는 현재 원자로의 상태에서부터 신호 패턴을 예상하여 상기 VAC(130)에 의하여 발생된 원자로 정지 신호와 비교한 후, 만일 불일치가 있으면, 최종적으로 원자로 정지가 결정되어 각각의 구동 논리(Initiation Logic)에 전달한다.
- <28> 또한, 상기 MTC(150)는 상기 TGC(110), TAC(120), VAC(130), PRC(140)와 통신하여 각 구성원에서 발생하는 입,출력 신호를 운전원이 감시 및 제어할 수 있도록 입력 및 출력 기능을 제공한다.

- <29> 또한, 상기 RCM(160)은 주제어반에 설치되어 시스템의 운전 상태를 표시하고, 시험에 대한 감시 및 시스템의 유지, 보수에 필요한 각종 기능을 수행하는 운전원 모듈이다.
- <30> 각각의 구성 요소들을 보다 더 상세히 설명하면 다음과 같다.
- <31> 먼저, 상기 TGC(110)는 본 발명에 따른 디지털 온라인 능동 시험의 핵심이 되는 부분으로써, 시험 입력 및 시험 입력 위치 비트(Test Signal Position Bit)를 생성함으로써, 시험이 자동적으로 시작될 수 있도록 한다.
- <32> 시험이 자동적으로 시작되면, 상기 TAC(120)는 발전소 운전 변수를 공정 계측 기기, 노외 중성자 속도 감시 시스템(ENFMS), 원격 정지반 및 노심 보호 연산기 시스템(CPCS)로부터 아날로그 입력 또는 디지털 입력 모듈을 통하여 입력 신호로 받는다. 또한, 상기 TAC(120)는 정지 알고리즘을 내장하고 있으며, 다음과 같은 두가지 일을 수행한다.
- <33> 첫째로 정지 알고리즘을 이용해서 원자로 정지를 판단한다.
- <34> 둘째로 상기 TGC(110)를 제어한다. 상기 TGC(110)는 정지 알고리즘에 따라 각각의 운전 변수들에 대해 원자로 정지 상태로 만드는 테스트 입력을 생성하는 것이다. 그러한 테스트 입력은 실제 플랜트 신호들 사이에 끼워 넣어지게 된다. 상기 TAC(120)의 구동 소프트웨어는 운전 변수 측정값과 미리 정하여진 제한값과의 비교 및 트립 알고리즘에 의하여 트립 상태를 결정한다. 이 트립 신호는 프로그래머블 논리 제어기(PLC : Programmable Logic Controller) 디지털 출력 모듈을 통하여 상기 VAC(130)에 전달된다.

즉, 상기 TAC(120)은 로직에 의하여 자가 진단용 테스트 신호를 발생시켜 이를 통하여 트립 신호를 상기 VAC(130)에 전달한다.

<35> 본 실시예에서는 상기 TAC(120)을 PLC로 구현하였으면, 중앙 처리 모듈, 파워 공급 모듈, 아날로그 입력 모듈, 디지털 입력 모듈 및 디지털 출력 모듈로 구성하였다.

<36> 한편, 상기 TAC(120)의 입력단에 인가되는 발전소 정지 운전 변수들은 다음과 같다

<37> 첫 번째로 가변 과출력(Variable Over Power) 트립이다. 중성자속 준위 변화율이 프로그램 설정값 이상으로 증가하거나 중성자속이 기설정된 최대치에 도달하게 되면, 원자로가 정지된다. 현재 출력과 트립 설정값 사이에는 보통 15% 차이가 있다. 원자로 출력이 증가하게 되면, 트립 설정값도 감소되어 13.6%의 범위를 유지하게 된다. 원자로 출력이 감소되면 트립 설정값도 13.6% 이상 유지되지만, 트립 설정값의 최대 증가율이 14.6%/min 이기 때문에 실제 원자로 출력이 이 비율보다 더 크게 증가하게 되면, 원자로 트립이 발생하게 된다. 이 트립의 목적은 제어봉 인출 사고시 사고 결과를 완화시키기 위한 공학적 안전 설비 작동 시스템을 보조해주기 위한 것이다.

<38> 두 번째로 고 대수 출력 준위(High Logarithmic Power Level) 트립이다. 고 대수 출력 준위 트립은 지시된 중성자속 출력이 기설정된 최대값에 도달할 때, 원자로 정지를 위하여 개시된다. 이 트립의 목적은 부주의한 봉산 회석 사고나 제어할 수 없는 제어봉 인출 사고시에 피복재 및 노 냉각재 압력 경계의 건전성을 확보해 주는 것이다.

<39> 세 번째로 고 국부 출력 밀도(High Local Power Density) 트립이다. 국부적으로 노심 최대 출력 밀도가 특정값 이상이 되면 원자로 정지가 일어난다. 이것은 노심 보호

연산기에서 트립 신호를 발생시킴으로 인한 것이며, 트립 신호에 이용되는 입력 신호는 출력, 제어봉 위치, 노 냉각재의 온도, 압력 및 유량등이다. 이 트립의 목적은 중간 빈도 및 회귀 빈도 사건시 국부 출력 밀도가 핵연료 설계 제한값을 초과하지 않도록 하기 위한 것이다. 국부 출력 밀도는 노의 중성자 검출기에 의한 중성자속 출력과 축 방향 출력 분포, 각각의 제어봉 위치 측정에 의한 반경 방향 침투 출력 및 원자로 냉각재 온도와 유량 측정에 의한 온도 차이 출력 인자들을 사용하여 노심 보호 연산기에서 계산한다. 노심 보호 연산기(CPC : Core Protection Calculator)에 의하여 계산되는 국부 출력 밀도(LPD : Local Power Density) 원자로 정지 변수는 오차 및 동적 보상을 고려한 값이다. 이는 실제 노심 국부 출력 침투값이 핵 연료 설계 제한값보다 충분히 낮을 때, 원자로 정지가 발생하도록 하여, 원자로 정지 후, 실제 노심 국부 출력 밀도의 침투값이 국부 선출력 밀도 안전 제한값을 초과하지 않도록 보증한다. 동적 보상은 노심 연료 중심 온도의 전달 지연(출력 밀도의 변화 관련), 검출기 시간 지연 및 보호 시스템의 시간 지연 효과를 고려한다. 침투 국부 출력 밀도(LPD)와 관련된 노심 보호 연산기 오차의 산정 방식은 핵비등 이탈률(Departure From Nucleate Boiling Ratio : DNBR) 계산에 사용하는 것과 동일한 방식을 사용한다. 여기서 DNBR은 원자로 내부의 핵 연료봉을 냉각시키는 냉각수가 끓어 기포가 발생하게 될 정도를 나타내는 물리량이다.

- <40> 네 번째로 저 핵비등 이탈률(Low Departure From Nucleate Boiling Ratio) 트립이다. 핵비등 이탈률이 기설정된 최소값에 도달하면, 원자로는 정지된다. 즉, 노 냉각재 펌프 축 고장이나 증기 발생기 누설시에 결과를 완화시키기 위한 공학적 안전 설비 작동 시스템을 보조한다. 핵비등 이탈률은 노의 중성자 검출기에 의한 중성자속 출력과 축 방향 출력 분포, 각각의 제어봉 위치 측정에 의한 반경

방향 침두 출력, 원자로 냉각재 온도와 유량 측정에 의한 온도 차이 출력, 가압기 압력 측정에 의한 원자로 냉각재 시스템 압력, 원자로 냉각재 펌프 속도에 의한 냉각재 유량 및 원자로 냉각재 저온관 온도 측정에 의한 노심 입구 온도 인자들을 사용하여 노심 보호 연산기에서 계산되어 진다. 이 경우에 감지기 및 처리 시간의 지연과 부정확성을 고려하여 핵비등 이탈률 안전 한계값을 넘기 전에 미리 예견하여 트립을 발생시킨다. 또한 계산 방식은 DNBR 계산 방식을 적용하며, 오차 및 동적 보상은 원자로 정지후, 노심의 DNBR 값이 감소하더라도, DNBR 안전 제한값을 위반하지 않도록 계산된 DNBR이 1.30보다 충분히 높은 상태에서 원자로 정지가 일어나도록 보장한다. 동적 보상이란 냉각재 이송 지연, 노심 열속 지연(노심 출력 변화 관련), 감지기 시간 지연 및 보호 시스템 기기 시간 지연의 효과등을 말한다. DNBR 계산과 관련된 노심 보호 연산기 오차는 노심 보호 연산기 입력 측정 오차, 연산식 모델링 오차 및 컴퓨터 처리 공정 오차를 포함한다. 노심 보호 연산기에서 사용하는 DNBR 연산식은 기설정된 제한값 이내에서만 유효하며, 이 제한값을 초과하여 운전하게 되면, 노심 보호 연산기는 DNBR/LPD 정지 신호를 발생시킨다.

<41> 다섯 번째로 가압기 고압력(High Pressurizer Pressure) 트립이다. 이 트립은 과압이 될 수 있는 중간 빈도 및 희귀 빈도 사건시에 노 냉각재 압력 경계의 건전성을 확보하여 주기 위한 트립이다. 가압기 압력이 설정값 이상이 되면, 원자로 트립이 일어나고, 제어봉 인출 금지가 발생한다.

<42> 여섯 번째로 가압기 저압력(Low Pressurizer Pressure) 트립이다. 이 트립은 핵비등 이탈률 트립을 보조하며, 안전 한계값에 접근하는 것을 방지하고, 냉각

재 상실 사고시 공학적 안전 설비 시스템을 보조하여 준다. 즉, 가압기 압력이 설정값 이하가 되면, 원자로 트립이 일어나고, 발전소 정지 및 냉각시에는 운전원이 수동으로 설정값을 내릴 수 있게 한다. 압력을 증가시킬 때, 설정값은 일정한 차이를 두고 계속 따라 올라간다.

<43> 일곱 번째로 증기 발생기 저수위(Low Steam Generator Level) 트립이다. 이 트립은 급수 상실과 같은 열 제거원 상실에 의하여 원자로가 가압되는 것을 방지하여 준다. 즉, 증기 발생기 수위량의 감소시 잔열 제거를 위한 보조 급수 펌프를 작동시킬 충분한 시간을 보장하기 위한 보호 조치를 취하게 된다.

<44> 여덟 번째로 증기 발생기 고수위(High Steam Generator Level) 트립이다. 이 트립은 습분이 증기 발생기에서 터빈으로 넘어가지 않도록 하여 기기 손상을 방지하여 준다. 즉, 각각의 증기 발생기의 수위가 설정치를 넘으면, 원자로 트립이 발생한다.

<45> 아홉 번째로 증기 발생기 저압력(Low Steam Generator Pressure) 트립이다. 이 트립은 증기관 파열시에 노 냉각재가 냉각되는 것을 막기 위하여 공학적 안전 설비 시스템을 보조해 주는 것이다.

<46> 열 번째로 원자로 냉각재 저유량(Low Reactor Coolant Flow) 트립이다. 이 트립은 증기 발생기 1차측 전후단 압력차를 감시하여 이 압력차가 큰 비율로 떨어지거나, 기설정된 최소값 이하로 떨어지면, 원자로 트립이 발생한다.

<47> 열한 번째로 격납 건물 고압력(High containment Pressure) 트립이다. 이 트립은 설계 기준 냉각재 상실 사고 또는 격납 건물내의 주 증기관 사고시 격납 용기 압력이 설계 압력을 넘지 못하도록 선정된다. 즉, 격납 건물 압력이 설정값에 도달하면, 원자로

정지 신호가 발생한다.

- <48> 열두 번째로 수동 원자로(Manual Reactor) 트립이다. 이 트립은 주제어실에서 원자로를 트립시킬 수 있는 수단을 제공한다. 또한, 원자로 트립 스위치 기어에서도 가능하도록 한다.
- <49> 상기 VAC(130)는 상기 TAC(120)에 의하여 결정된 각각의 안전 변수의 트립 신호와 이와 관련한 트립 채널 우회 신호를 입력받는다. 이때, 한번에 한 채널의 우회만 가능하게 하는 확인 알고리즘에 따라 구동된다. 여기서, 트립 채널 우회란 사고시 4개의 채널 중 하나의 채널이 운전이 불가할 때 그 채널을 없애 버리는 역할을 의미한다.
- <50> 본 실시예에서는 총 4개의 측정 채널 중 2 채널 이상의 신호가 트립 상태를 지시하면, 해당 안전 변수에 트립 신호를 출력한다. 만일 트립 채널 우회가 존재하면, 3개의 우회되지 않은 트립 신호 중 2개 이상에서 트립 상태를 지시하면, 트립 신호를 출력한다. 또한, 상기 TAC(120)에서 생성한 자가 진단용 테스트 트립 신호의 위치 정보를 전달받아 이를 상기 PRC(140)에 출력한다.
- <51> 상기 PRC(140)는 상기 VAC(130)에 의하여 결정된 각각의 안전 변수의 트립 신호 및 자가 진단용 테스트 트립 신호의 위치 정보를 입력받는다. 테스트 트립 위치에 해당하는 안전 변수에서 발생하는 트립은 시스템이 정상적임을 의미하므로, 원자로 정지 신호를 발생시키지 않는다. 그러나, 테스트 트립 위치에 해당하지 않는 안전 변수의 트립과 테스트 트립 위치의 안전 변수가 정상으로 입력될 때, 원자로 정지 신호를 발생시킨다.

- <52> 도 2는 종래의 디지털 발전소 보호 시스템(DPPS), 동적 안전 시스템(DSS)과 본 발명의 일 실시예에 따른 DOAT-PPS와의 차이점을 보여주는 도면으로서, 이를 상세히 설명하면 다음과 같다.
- <53> 세 개의 시스템 모두 소프트웨어 기반 구성의 디지털 시스템이라는 유사점을 가지고 있으나, 몇가지 세부 사항에서 DOAT-PPS와의 차이점을 보여주고 있다.
- <54> 먼저, 제어 방식을 살펴보면, 세 시스템 모두 소프트웨어 기반 구성의 디지털 시스템이고, 주요 장비의 관점을 살펴보면, DSS는 보드 컨트롤러(Board Controller) 방식이나, DPPS 및 DOAT-PPS는 PLC 방식이다.
- <55> 또한, 세 시스템 모두 소프트웨어를 기반으로 기능을 수행하고, 측정 채널 수는 4개이며, 시험 방법은 DPPS는 작업자가 직접 시험을 개시하여야 하나, DSS 및 DOAT-PPS는 자동 시험 방식이다.
- <56> 또한, 시스템 연계 방식으로는 DPPS는 ITP(Interface & Test Processor, 연계 시험 프로세서) 방식이나, DSS는 특별히 정하여진 규격이 없고, DOAT-PPS는 MTC에서 수행한다.
- <57> 또한, 시험 입력 생성 알고리즘은 DPPS는 비정형 시나리오(Predefined Scenario) 알고리즘을 채택하고 있고, DSS는 고정 시험 입력 스캐닝(Fixed Test Input Scanning) 알고리즘을 채택하고 있으며, DOAT-PPS는 지능 시험 입력 생성(Intelligent Test Input Generating) 알고리즘 및 입력 신호 위치 비트(Test Signal Position Bit) 알고리즘을 채택하고 있다.

<58> 또한, 온라인 진단 감시 부분을 살펴보면, DPPS 및 DSS는 부분적 진단 감시 방식을 채택하고 있고, DOAT-PPS는 모든 구성 요소들에 대한 진단 감시 방식을 채택하고 있다.

<59> 위에서 양호한 실시예에 근거하여 이 발명을 설명하였지만, 이러한 실시예는 이 발명을 제한하려는 것이 아니라 예시하려는 것이다. 이 발명이 속하는 분야의 숙련자에게는 이 발명의 기술 사상을 벗어남이 없이 위 실시예에 대한 다양한 변화나 변경 또는 조절이 가능함이 자명할 것이다. 그러므로, 이 발명의 보호 범위는 첨부된 청구 범위에 의해서만 한정될 것이며, 위와 같은 변화예나 변경예 또는 조절예를 모두 포함하는 것으로 해석되어야 할 것이다.

【발명의 효과】

<60> 이상과 같이 본 발명에 의하면, 시스템의 모든 종류의 오류는 물론 모든 구성 요소들의 상태까지 감시할 수 있는 지능적인 시험 시스템을 설계할 수 있고, 이용률 향상 및 유지 보수의 유용성을 갖는 장점이 있다.

【특허청구범위】**【청구항 1】**

원자력 발전소의 디지털 온라인 능동 시험 발전소 보호 시스템(DOAT - PPS : Digital Online Active Test - Plant Protection System)에 있어서,

시험을 시작하기 위한 명령어인 시험 입력과 상기 시험 입력이 현재 어느 공정 변수의 위치에 생성되어 있는지를 지시하는 시험 입력 위치 비트(Test Signal Position Bit)를 생성하는 TGC(Test Generating Computer, 시험 발생 컴퓨터);

상기 TGC에 의한 시험 입력이 있으면, 물리적, 전기적으로 격리된 다수개의 측정 채널을 통하여 발전소 운전 변수를 입력받아 운전 변수 측정값과 미리 정하여진 제한값과의 비교에 의하여 트립 상태를 결정하는 TAC(Trip Algorithm Computer, 트립 알고리즘 컴퓨터);

상기 TAC에 의하여 결정된 각각의 발전소 운전 변수의 트립 신호를 입력받아 원자로 정지 여부를 결정하여 원자로를 정지시키는 신호를 출력하는 VAC(Voting Algorithm Computer, 보팅 알고리즘 컴퓨터); 및

현재 원자로의 상태에서부터 신호 패턴을 예상하여 상기 VAC에 의하여 발생된 원자로 정지 신호와 비교한 후, 불일치가 있으면, 최종적으로 원자로 정지를 결정하는 PRC(Pattern Recognition Computer, 패턴 인식 컴퓨터)를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 하는 디지털 온라인 능동 시험 발전소 보호 시스템.

【청구항 2】

제 1 항에 있어서,

상기 TAC에서 입력받는 발전소 운전 변수는,

중성자속 준위 변화율이 프로그램 설정값 이상으로 증가하거나 중성자속이 기설정된 최대치에 도달하게 되면, 원자로를 정지시키기 위한 가변 과출력(Variable Over Power) 트립, 부주의한 봉산 회석 사고나 제어할 수 없는 제어봉 인출 사고시에 피복재 및 노 냉각재 압력 경계의 건전성을 확보해 주기 위한 고 대수 출력 준위(High Logarithmic Power Level) 트립, 국부적으로 노심 최대 출력 밀도가 특정값 이상이 되면 원자로를 정지시키기 위한 고 국부 출력 밀도(High Local Power Density) 트립, 핵비등 이탈률이 기설정된 최소값에 도달하면, 원자로를 정지시키기 위한 저 핵비등 이탈률(Low Departure From Nucleate Boiling) 트립, 과압이 될 수 있는 중간 빈도 및 회귀 빈도 사건시에 노 냉각재 압력 경계의 건전성을 확보하여 주기 위한 가압기 고압력(High Pressurizer Pressure) 트립, 핵비등 이탈률 트립을 보조하며, 안전 한계값에 접근하는 것을 방지하고, 냉각재 상실 사고시 공학적 안전 설비 시스템을 보조하기 위한 가압기 저압력(Low Pressurizer Pressure) 트립, 급수 상실과 같은 열 제거원 상실에 의하여 원자로가 가압되는 것을 방지하여 주기 위한 증기 발생기 저수위(Low Steam Generator Level) 트립, 습분이 증기 발생기에서 터빈으로 넘어가지 않도록 하여 기기 손상을 방지하여 주기 위한 증기 발생기 고수위(High Steam Generator Level) 트립, 증기관 파열시에 노 냉각재가 냉각되는 것을 막기 위하여 공학적 안전 설비 시스템을 보조해 주는 증기 발생기 저압력(Low Steam Generator Pressure) 트립, 증기 발생기 1차측 전후단 압력차를 감시하여 이 압력차가 큰 비율로 떨어지거나, 기설정된 최소값 이하로 떨어지면,

원자로 트립을 발생시키기 위한 원자로 냉각재 저유량(Low Reactor Coolant Flow) 트립, 격납 건물 압력이 설정값에 도달하면, 원자로 정지 신호를 발생시키기 위한 격납 건물 고압력(High containment Pressure) 트립, 주제어실에서 원자로를 트립시킬 수 있는 수동 원자로(Manual Reactor) 트립을 포함하는 것을 특징으로 하는 디지털 온라인 능동 시험 발전소 보호 시스템.

【청구항 3】

제 1 항에 있어서,

상기 TGC(110), TAC(120), VAC(130), PRC(140)와 통신하여 각 구성원에서 발생하는 입,출력 신호를 운전원이 감시 및 제어할 수 있도록 입력 및 출력 기능을 제공하는 MTC(Manual Test Computer)를 더 포함하여 이루어진 것을 특징으로 하는 디지털 온라인 능동 시험 발전소 보호 시스템.

【청구항 4】

제 1 항에 있어서,

주제어반에 설치되어 시스템의 운전 상태를 표시하고, 시험에 대한 감시 및 시스템의 유지, 보수에 필요한 각종 기능을 수행하는 RCM(Remote Control Module, 운전원 모듈)을 더 포함하여 이루어진 것을 특징으로 하는 디지털 온라인 능동 시험 발전소 보호 시스템.

【청구항 5】

원자력 발전소의 디지털 온라인 능동 시험 발전소 보호 방법(DOAT - PPS : Digital Online Active Test - Plant Protection Method)에 있어서,

시험을 시작하기 위한 명령어인 시험 입력과 상기 시험 입력이 현재 어느 공정 변수의 위치에 생성되어 있는지를 지시하는 시험 입력 위치 비트(Test Signal Position Bit)를 생성하는 제 1 단계;

상기 제 1 단계에서 시험 입력이 있으면, 물리적, 전기적으로 격리된 다수개의 측정 채널을 통하여 발전소 운전 변수를 입력받아 운전 변수 측정값과 미리 정하여진 제한값과의 비교에 의하여 트립 상태를 결정하는 제 2 단계;

상기 제 2 단계에 의하여 결정된 각각의 발전소 운전 변수의 트립 신호를 입력받아 원자로 정지 여부를 결정하여 원자로를 정지시키는 신호를 출력하는 제 3 단계;

현재 원자로의 상태에서부터 신호 패턴을 예상하여 상기 제 3 단계에서 발생된 원자로 정지 신호와 비교한 후, 불일치가 있으면, 최종적으로 원자로 정지를 결정하는 제 4 단계를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 하는 디지털 온라인 능동 시험 발전소 보호 방법.

【청구항 6】

제 3 항에 있어서,

상기 발전소 운전 변수는,

중성자속 준위 변화율이 프로그램 설정값 이상으로 증가하거나 중성자속이 기설정

된 최대치에 도달하게 되면, 원자로를 정지시키기 위한 가변 과출력(Variable Over Power) 트립, 부주의한 봉산 회석 사고나 제어할 수 없는 제어봉 인출 사고시에 피복재 및 노 냉각재 압력 경계의 건전성을 확보해 주기 위한 고 대수 출력 준위(High Logarithmic Power Level) 트립, 국부적으로 노심 최대 출력 밀도가 특정값 이상이 되면 원자로를 정지시키기 위한 고 국부 출력 밀도(High Local Power Density) 트립, 핵비등 이탈률이 기설정된 최소값에 도달하면, 원자로를 정지시키기 위한 저 핵비등 이탈률(Low Departure From Nucleate Boiling) 트립, 과압이 될 수 있는 중간 빈도 및 희귀 빈도 사건시에 노 냉각재 압력 경계의 건전성을 확보하여 주기 위한 가압기 고압력(High Pressurizer Pressure) 트립, 핵비등 이탈률 트립을 보조하며, 안전 한계값에 접근하는 것을 방지하고, 냉각재 상실 사고시 공학적 안전 설비 시스템을 보조하기 위한 가압기 저압력(Low Pressurizer Pressure) 트립, 급수 상실과 같은 열 제거원 상실에 의하여 원자로가 가압되는 것을 방지하여 주기 위한 증기 발생기 저수위(Low Steam Generator Level) 트립, 습분이 증기 발생기에서 터빈으로 넘어가지 않도록 하여 기기 손상을 방지하여 주기 위한 증기 발생기 고수위(High Steam Generator Level) 트립, 증기관 파열시에 노 냉각재가 냉각되는 것을 막기 위하여 공학적 안전 설비 시스템을 보조해 주는 증기 발생기 저압력(Low Steam Generator Pressure) 트립, 증기 발생기 1차측 전후단 압력차를 감시하여 이 압력차가 큰 비율로 떨어지거나, 기설정된 최소값 이하로 떨어지면, 원자로 트립을 발생시키기 위한 원자로 냉각재 저유량(Low Reactor Coolant Flow) 트립, 격납 건물 압력이 설정값에 도달하면, 원자로 정지 신호를 발생시키기 위한 격납 건물 고압력(High containment Pressure) 트립, 주제어실에서 원자로를 트립시킬 수 있는 수동 원자로(Manual Reactor) 트립을 포함하는 것을 특징으로 하는 디지털 온라인 능동 시

험 발전소 보호 방법.

【청구항 7】

컴퓨터에,

시험을 시작하기 위한 명령어인 시험 입력과 상기 시험 입력이 현재 어느 공정 변수의 위치에 생성되어 있는지를 지시하는 시험 입력 위치 비트(Test Signal Position Bit)를 생성하는 제 1 단계;

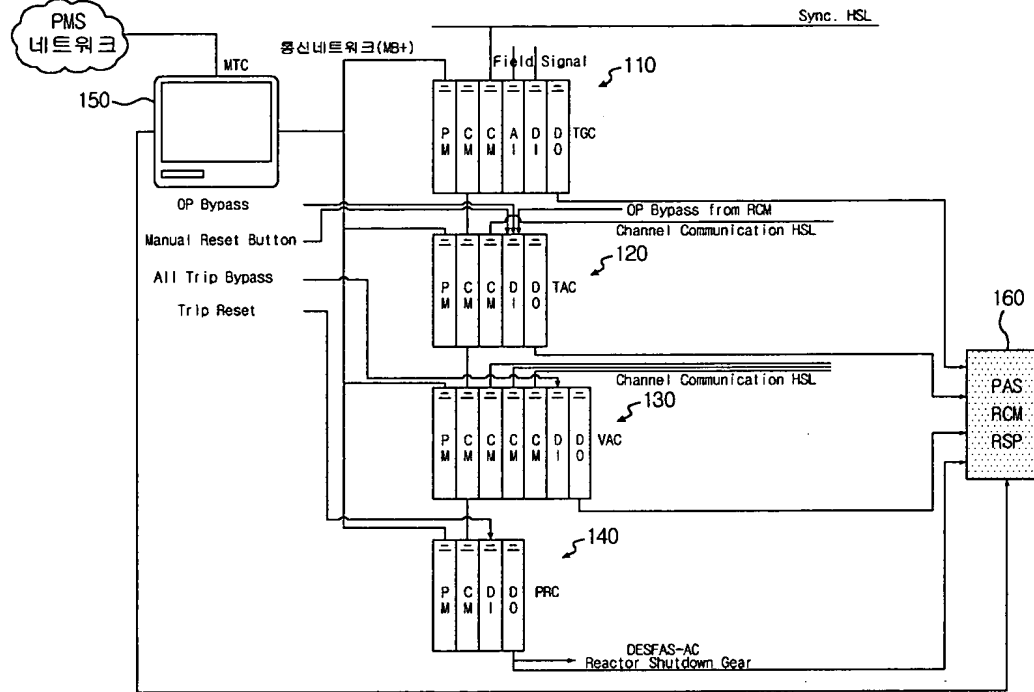
상기 제 1 단계에서 시험 입력이 있으면, 물리적, 전기적으로 격리된 다수개의 측정 채널을 통하여 발전소 운전 변수를 입력받아 운전 변수 측정값과 미리 정하여진 제한값과의 비교에 의하여 트립 상태를 결정하는 제 2 단계;

상기 제 2 단계에 의하여 결정된 각각의 발전소 운전 변수의 트립 신호를 입력받아 원자로 정지 여부를 결정하여 원자로를 정지시키는 신호를 출력하는 제 3 단계; 및

현재 원자로의 상태에서부터 신호 패턴을 예상하여 상기 제 3 단계에서 발생된 원자로 정지 신호와 비교한 후, 불일치가 있으면, 최종적으로 원자로 정지를 결정하는 제 4 단계를 포함하여 이루어진 것을 실행시킬 수 있는 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체.

【도면】

【도 1】



【도 2】

항목	DPPS	DSS(ISAT)	DOAT-PPS
제어방식	디지털	디지털	디지털
주요장비	PLC	One-board controller	PLC
기능수행	소프트웨어기본설계	소프트웨어기본설계	소프트웨어기본설계
채널수	4	4	4
시험방법	수동개시자동시험	자동시험	자동시험
계통연계	ITP에서 수행	N/A	MTC에서 수행
시험입력생성기	N/A	- TAC 내부에서 수행 - 독립적 TGC 없음	- 소프트웨어 설계된 독립적 TGC에서 수행 - 독립적 TGC 구현
시험입력생성알고리즘	Predefined scenario	Fixed test input scanning	- Intelligent test input generating - Test signal position bit 사용
통신방식	- Hardwired - Comm. Network - HSL	Hardwired	- Hardwired - Comm. Network - HSL
온라인진단감시	부분적(heart beat)	부분적	모든 component 감시